

## 酶制剂体外酶解豆粕中抗营养因子的研究

陈乃松, 杨志刚, 崔惟东, 周洁, 马建忠, 王战付, 郑剑伟

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

**摘要:**为了评价几种单一酶、复合酶以及钙离子对豆粕中的相关抗营养因子的水解效果,进行了体外酶解试验。共有 4 种单一酶制剂(植酸酶、果胶酶、纤维素酶和木聚糖酶)和 3 种复合酶制剂被采用,其中复合酶 SB<sup>®</sup>由  $\alpha$ -半乳糖苷酶和木聚糖酶组成,复合酶 C3 由植酸酶、果胶酶、纤维素酶组成,复合酶 C5 由植酸酶、果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶和  $\alpha$ -半乳糖苷酶组成。预试验显示上述酶有基本相似的最适水解反应参数:水分 50%、pH 4.8~5.0、温度 50℃ 和时间 45 min。在此参数下,添加 10.5 U  $g^{-1}$  豆粕的植酸酶,豆粕中植酸的降解率达到 69.63%;添加果胶酶 16 U  $g^{-1}$  豆粕,豆粕中果胶的降解率达到 45.93%;添加纤维素酶 50 U  $g^{-1}$  豆粕,纤维素降解率达到 66.21%;分别添加木聚糖酶 80 U  $g^{-1}$  豆粕和  $\alpha$ -半乳糖苷酶 0.7 U  $g^{-1}$  豆粕,豆粕中还原糖的释放量增加率分别达到 84.77% 和 65.19%。在豆粕中添加 0.2%  $CaCl_2$ ,植酸的降解率与对照组相比微增至 71.09%,还原糖的释放量分别增加到 88.68% 和 65.23%。但果胶和纤维素的降解率分别显著地增加到 90.01% 和 70.43%。研究发现复合酶 C3 和 C5 对相关的抗营养因子均呈现出不同程度的协同效应。说明使用复合酶制剂并适量添加  $CaCl_2$ ,体外水解豆粕中的相关抗营养因子是可行的。

**关键词:**酶制剂;降解;豆粕;抗营养因子

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2008)04-0663-06

## Enzymes Hydrolyzing in Vitro Anti-Nutritional Factors in Soybean Meal

CHEN Nai-song, YANG Zhi-gang, CUI Wei-dong, ZHOU Jie, MA Jian-zhong, WANG Zhan-fu, ZHENG Jian-wei

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** In vitro experiments with several enzyme preparations were conducted to evaluate the effects of several kinds of single enzyme and compound enzyme and  $Ca^{2+}$  on hydrolyzation of relative anti-nutritional factors (ANFs) in soybean meal (SBM). Four single enzymes (phytase, pectase, cellulase, xylanase) and three enzyme compounds (SB<sup>®</sup> including  $\alpha$ -galactosidase and xylanase, C3 including phytase, pectase and cellulase, C5 including phytase, pectase, cellulase, xylanase and SB) were employed. A beforehand test showed that the suitable hydrolytical parameter for these enzymes was similarly 50% for moisture, 4.8-5.0 for pH, 50℃ for incubation temperature, 45 minutes for incubation time. With the parameter and addition of 10.5 U phytase in 1 g SBM, the degradation rate of phytate reached 69.63%. The degradation rates of pectin and cellulose were 45.93% and 66.21% with adding 16 U pectase and 40 U cellulase in 1 g SBM respectively, and with adding 80 U xylanase and 0.7 U  $\alpha$ -galactosidase in 1 g SBM, the release rates of reducing sugar increased to 84.77% and 65.19% respectively. With 0.2%  $CaCl_2$  supplementation in SBM, the degradation rate of phytate reached 71.09%, slightly higher than 69.63% for the control and the release rates of reducing sugar increased to 88.68% and 65.23% respectively, but the degradation rates of pectin and cellulose increased significantly to 90.01% and 70.43%. Synergistic effects on phytate, pectin and cellulose degradation as well as release of reducing sugars were observed when either C3 or C5 was used. This research indicated that multi-enzyme preparation with moderate  $CaCl_2$  supplementation was feasible to hydrolyze in vitro specific ANFs in SBM.

**Key words:** Enzyme preparation; Degradation; Soybean meal; Anti-nutritional factors

豆粕作为优良的植物性蛋白源已在动物饲料中被广泛使用。但豆粕中含有的多种抗营养因子,如

胰蛋白酶抑制剂、脲酶、大豆凝血素、致甲状腺肿素、脂肪氧化酶、抗原蛋白、皂苷、低聚糖、非淀粉性多

收稿日期:2008-01-21

基金项目:上海市教委资助项目(科-05227);上海市农委攻关资助项目(攻-0664)。

作者简介:陈乃松(1961-),男,在读博士,副教授,从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail: nschen@shfu.edu.cn。

糖、植酸等,对营养成分的消化、吸收、代谢以及对动物的健康和生产性能有不良的影响<sup>[1-4]</sup>。近年来对豆粕中抗营养因子去除方法的研究引起了生物学家、动物营养学家的重视。对于胰蛋白酶抑制剂、脲酶、大豆凝血素、致甲状腺肿素、脂肪氧化酶等热敏性的抗营养因子,在豆粕的生产和饲料的加工过程中通过加热处理已基本去除了它们的抗营养活性。然而对于抗原蛋白、皂苷、低聚糖、非淀粉性多糖、植酸等非热敏性的抗营养因子则难以去除它们的抗营养作用<sup>[5]</sup>。发酵法能在一定程度上去除豆粕中的有害物质或抗营养因子,提高其营养价值<sup>[6-7]</sup>,但这无疑大幅度提高了豆粕的使用成本。随着酶制剂工业的快速发展和各种酶制剂产品的问世,为利用酶制剂解决豆粕中的抗营养因子问题提供了可能性<sup>[8-9]</sup>。

使用国内外5种酶制剂产品植酸酶、果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶、 $\alpha$ -半乳糖苷酶采用单一和复合的方法对豆粕中的相应抗营养因子进行体外酶解研究,旨在为利用酶制剂体外处理豆粕中的抗营养因子提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

大豆粕:市售商品;经粉碎全部过0.2 mm标准筛后作试验用;其近似组成的分析值如表1。

果胶酶:市售商品,活力100 000 U·g<sup>-1</sup>。酶活力定义:1 g酶粉于50℃、pH 3.5条件下,1 min催化果胶水解生成1  $\mu$ g半乳糖醛酸的酶量为一个果胶酶活力单位。

植酸酶:由DSM公司提供,活力5000 U·g<sup>-1</sup>。活力单位定义:样品在植酸钠浓度为5.0 mmol·L<sup>-1</sup>,温度37℃,pH 5.50的条件下,每分钟从植酸钠中释放1  $\mu$ mol无机磷,即为一个植酸酶活性单位。

纤维素酶:市售商品,综合活力18 000 U·g<sup>-1</sup>。酶活力定义:1 g酶于50℃、pH 4.8条件下,1 min水解底物(滤纸、棉球、CMC、水杨素)产生1  $\mu$ g葡萄糖的酶量为1个酶活力单位。

木聚糖酶:市售商品,活力10 000 U·g<sup>-1</sup>。酶活力单位定义:1 g酶粉在50℃、pH值为5.0条件下,每分钟产生1  $\mu$ mol还原糖所需酶量定义为1个酶活力单位。

SB<sup>®</sup>:由西班牙埃特亚饲料添加剂有限公司提供,含 $\alpha$ -半乳糖苷酶40 U·g<sup>-1</sup>,木聚糖酶50 U·

g<sup>-1</sup>。 $\alpha$ -半乳糖苷酶酶活性定义:1 g酶粉在pH值5.5、温度37℃的条件下,1 min的时间内水解4-硝基酚- $\alpha$ -D-半乳糖苷生成1 mmol 4-硝基酚所消耗的酶量。木聚糖酶酶活性定义:1 g酶粉在pH为5.0、温度40℃条件下1 min内水解木聚糖释放出1  $\mu$ mol木糖所消耗的酶量为一个单位。

### 1.2 方法

1.2.1 分析与测定方法 水分的测定按GB 6435-1986。粗灰分的测定按GB/T 6438-1992。粗蛋白的测定按GB/T 6432-1994。粗脂肪的测定按GB/T 6433-1994。粗纤维的测定按GB/T 6434-1994。钙的测定按GB/T 6436-2002。总磷的测定按GB/T 6437-2002。总能的测定用氧弹热量计法(Parr 6200,USA)。果胶含量的测定用比色法<sup>[10]</sup>。植酸含量的测定用三氯化铁比色法<sup>[11]</sup>。还原性糖的测定用3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[12]</sup>。

1.2.2 试验设计 取一定量酶制剂溶解在一定量0.2 mol·L<sup>-1</sup>的醋酸-醋酸钠缓冲液,添加到1 g豆粕中使其含水量为50%,混合搅匀,在水浴锅内恒温搅拌45 min,使其充分反应。反应结束后立即瞬间高温灭活终止酶解反应,烘干后测定相关的抗营养因子。各酶解试验的具体设计如下:

植酸酶用量对大豆粕中植酸的降解在温度为50℃、pH值为5.0条件下进行。每1 g豆粕中植酸酶的添加量定分别为1.5,3.0,4.5,6.0,7.5,9.0,10.5,12.0,13.5和15 U。

果胶酶用量对大豆粕中果胶的降解在温度50℃、pH 4.8条件下进行。每1 g豆粕中添加果胶酶的量分别为2,4,6,8,10,12,14,16,18和20 U。

纤维素酶用量对大豆粕中纤维素的降解在温度50℃、pH 4.7的条件下进行。每1 g豆粕的纤维素酶添加量为分别为10,20,30,40,50,60,70,80,90和100 U。

木聚糖酶用量对大豆粕中木聚糖的降解在温度为50℃、pH为5.0的条件下进行。每1 g豆粕的木聚糖酶添加量分别为10,20,30,40,50,60,70,80,90和100 U。

SB复合酶添加量对大豆粕中抗营养因子的降解在pH 5.0、温度50℃的条件下进行。每1 g豆粕酶的添加量分别为0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1.0,1.1和1.2 U。

氯化钙的添加对酶制剂降解豆粕抗营养因子影响在豆粕中的添加氯化钙的量分别为0.05%,

0.1% ,0.2% ,0.4% 和 0.8% 。

复合酶制剂降解豆粕抗营养因子的效果系将植酸酶、果胶酶和纤维素酶按以上试验得出的最适单一酶添加量配成复合酶 C3,在温度为 50℃、pH 为 4.8 的条件下,添加以上试验得出的最适用量的氯化钙,进行酶解豆粕的实验。另将植酸酶、果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶和 SB 5 种酶制剂按以上试验得出的最适添加量配成复合酶 C5,在温度为 50℃、pH 为 5.0 的条件下,添加经试验得出的最适用量的氯化钙,进行酶解豆粕。

表 1 所用豆粕的近似组成

组分 Composition	水分 Mois - ture	干物质 Dry matter	粗灰分 Crude ash	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗纤维 Crude fiber	钙 Ca	总磷 Total P	植酸 Phytate	果胶 Pectin	还原糖 Reducing sugar	总能 Gross E MJ/kg
含量 Content/%	9.81	90.19	6.31	42.72	1.34	6.71	0.32	0.63	1.35	14.15	2.63	17.66

果胶以半乳糖醛酸的百分含量表示。  
Percentage of glacturonic acid was expressed as pectin content.

2.2 单一酶制剂酶解效果

2.2.1 植酸酶 从图 1 看出,随着植酸酶量的增加,大豆粕中植酸的降解率增大,表明在植酸酶的催化作用下,豆粕中的植酸含量越来越低。在曲线的开始阶段,斜率最大,此后逐渐减小,表明随着植酸酶量的增加,植酸降解率的增加也逐渐减小。当植酸酶的添加量为 10.5 U · g<sup>-1</sup> 豆粕时,植酸的最大降解率为 69.63%。再增加植酸酶的量,豆粕中植酸含量无显著性差异变化(P>0.05)。

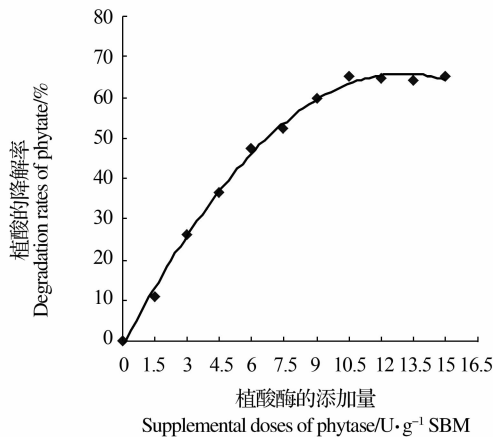


图 1 植酸酶用量对豆粕中植酸降解率的影响  
Fig.1 Effect of phytase doses on the degradation rate of phytate in SBM

2.2.2 果胶酶 由图 2 可见,果胶酶的添加量在 0

1.3 数据处理

用 SPSS 11.0 作单因素 的方差分析,用 Duncan 氏法作多重比较。

2 结果和分析

2.1 豆粕的相关成分分析

试验所用豆粕中的相关成分分析结果见表 1。豆粕的近似组成分析说明,该材料与市面上常见的用于饲料生产的豆粕的组成成分基本是一致的。

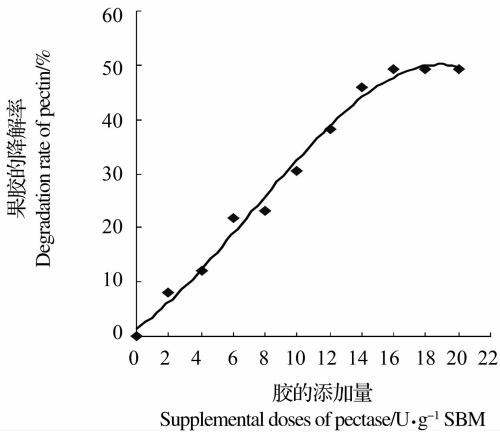


图 2 果胶酶用量对豆粕中果胶降解率的影响  
Fig.2 Effect of pectase doses on the degradation rate of pectin in SBM

~16 U · g<sup>-1</sup> 豆粕时,曲线的斜率基本成直线上升趋势。当酶的添加量达 16 U · g<sup>-1</sup> 豆粕时,果胶达到 45.93% 最大降解率。再增加果胶酶用量,果胶的含量基本稳定。

2.2.3 纤维素酶 由图 3 看出,随着纤维素酶用量的增加,豆粕中纤维素降解率迅速增加。当纤维素酶的添加量为 50 U · g<sup>-1</sup> 豆粕时,豆粕中纤维素的最大降解率达 66.21%。再增加纤维素酶的用量,酶解效果基本不变。

2.2.4 木聚糖酶 由图 4 看出,随着木聚糖酶用量

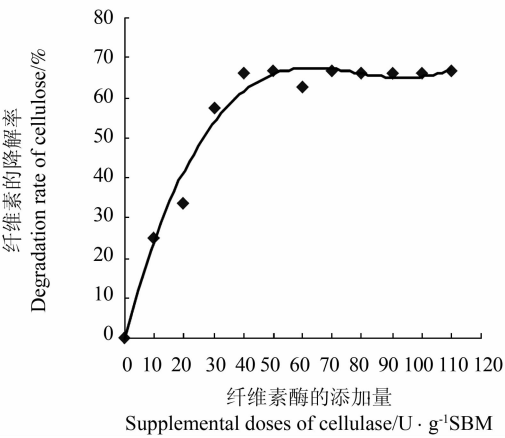


图3 纤维素酶用量对豆粕中纤维素降解率的影响  
Fig. 3 Effect of cellulase doses on the degradation rate of cellulose in SBM

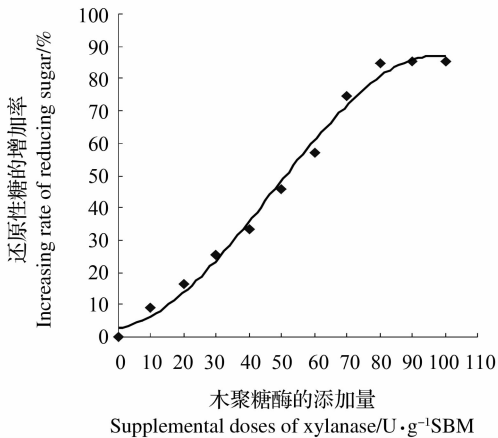


图4 木聚糖酶用量对豆粕中还原糖增加率的影响  
Fig. 4 Effect of xylanase doses on the increasing rate of reducing sugar in SBM

的增加,木聚糖酶酶解豆粕释放出的还原性糖的量越来越大。当添加量达到 $80\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 豆粕时,还原性糖的释放量基本维持稳定达 $84.77\%$ ,木聚糖酶对豆粕中的木聚糖的降解作用达到了平衡状态。

2.2.5 SB酶制剂 从图5可见,当 $\alpha$ -半乳糖苷酶添加量达到 $0.7\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 豆粕时,还原糖的释放量达到一个峰值。再增加酶的用量,还原性糖的释放率不再增加,维持在 $65.23\%$ 。

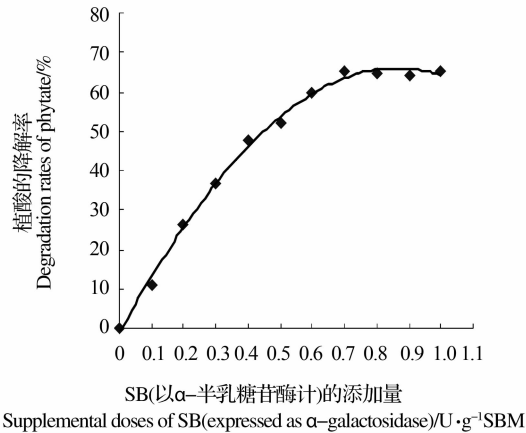


图5  $\alpha$ -半乳糖苷酶用量对豆粕中还原糖增加率的影响  
Fig. 5 Effect of  $\alpha$ -galactosidase doses on the increasing rate of reducing sugar in SBM

2.3 添加不同梯度氯化钙对单一酶制剂降解豆粕抗营养因子

从表2看出,在添加了5个不同梯度的氯化钙后,植酸酶组、果胶酶组、纤维素酶组、木聚糖酶组的酶解率呈现先增后减的趋势。其中果胶酶组的酶解率在氯化钙的添加量为 $0.2\%$ 时达到最大,且与对

表2 添加不同水平的氯化钙对酶解效果的影响

Table 2 Effect of adding different levels of  $\text{CaCl}_2$  on degradation

氯化钙添加量 Doses of $\text{CaCl}_2/\%$	植酸酶组 Phytase group/%	果胶酶组 Pectase group/%	纤维素酶组 Cellulase group/%	木聚糖酶组 Xylanase group/%	SB组 SB group/%
0(对照) Control	$69.50 \pm 0.15\text{ab}$	$45.93 \pm 0.90\text{f}$	$66.21 \pm 0.87\text{c}$	$84.77 \pm 1.22\text{bc}$	$65.19 \pm 1.24\text{a}$
0.05	$70.22 \pm 0.95\text{a}$	$57.36 \pm 0.35\text{e}$	$73.91 \pm 0.94\text{a}$	$86.85 \pm 1.05\text{ab}$	$65.12 \pm 0.22\text{a}$
0.10	$70.73 \pm 0.34\text{a}$	$79.21 \pm 0.87\text{bc}$	$72.12 \pm 0.61\text{ab}$	$88.79 \pm 1.09\text{a}$	$65.28 \pm 0.39\text{a}$
0.20	$71.11 \pm 0.11\text{a}$	$90.01 \pm 0.14\text{a}$	$70.43 \pm 1.75\text{b}$	$88.68 \pm 0.31\text{a}$	$65.23 \pm 0.41\text{a}$
0.40	$70.52 \pm 0.05\text{a}$	$82.33 \pm 2.03\text{b}$	$67.91 \pm 1.84\text{c}$	$87.84 \pm 1.80\text{a}$	$64.13 \pm 0.13\text{a}$
0.80	$69.21 \pm 0.10\text{ab}$	$67.93 \pm 0.87\text{d}$	$66.31 \pm 0.30\text{c}$	$86.43 \pm 0.51\text{ab}$	$60.21 \pm 0.71\text{b}$

植酸酶组、果胶酶组和纤维素酶组的数值均为酶解后目标物质的降解率;木聚糖酶组和SB酶组的数值均为酶解后还原性糖的增加率。表中同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

The values of phytase,pectase and cellulose groups represent the degradation rates of target materials after hydrolyzing. The values of xylanase and SB groups represent the increasing rates of reducing sugar after hydrolyzing. The values in the same column with different letters represent significant difference ( $P<0.05$ ).

照有显著的差异( $P < 0.05$ );而纤维素酶组、木聚糖酶组分别在 0.05% 和 0.10% 的氯化钙梯度达到较大酶解率和较大还原性糖的释放率,与对照组有显著的差异( $P < 0.05$ );SB 酶组在添加 0.05%,0.10%,0.20% 和 0.40% 的氯化钙后还原性糖的释放率与对

照无显著性差异( $P > 0.05$ ),当氯化钙的添加量为 0.80% 时,还原性糖的释放率显著降低( $P < 0.05$ )。

由此得出,为使复合酶处理豆粕中各种抗营养因子的效果得到较大的发挥,选择在复合酶中添加 0.20% 的氯化钙是较为合适的。

表 3 复合酶制剂降解豆粕中各抗营养因子的结果

Table 3 The effect of degrading anti-nutritional factors of SBM with compound enzymes

组别 Group	植酸含量 Content of phytate/%	果胶含量 Content of pectin/%	纤维素含量 Content of cellulose/%	还原性糖增长率 Increasing rate of total releasing reducing sugar/%
对照 Control	1.35 ± 0.06a	14.15 ± 0.25a	6.71 ± 0.03a	15.42 ± 0.05c
单一酶组 Single enzyme	0.41 ± 0.02b	7.66 ± 0.09b	2.27 ± 0.03b	—
C3	0.39 ± 0.17bc	1.40 ± 0.05c	1.51 ± 0.04c	35.46 ± 0.12b
C5	0.33 ± 0.02cd	1.37 ± 0.03cd	0.92 ± 0.03d	78.92 ± 0.11a

果胶以半乳糖醛酸的百分含量表示;表中同列数值具有不同上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

The percentage of galacturonic acid represents that of pectin. Values in the same column with different letters represent significant difference ( $P < 0.05$ ).

2.4 复合酶处理豆粕

由表 3 得出,在用植酸酶、果胶酶和纤维素酶组成的复合酶制剂 C3 处理豆粕,豆粕中果胶、纤维素的含量与这两种单一酶处理相比有显著的差异( $P < 0.05$ ),植酸的含量在 C3 处理后与单一酶植酸酶处理相比无显著差异( $P < 0.05$ )。这说明这三种单一酶制剂复合,对果胶和纤维素的降解产生了协同作用,但未对植酸酶的作用产生显著的协同作用。用植酸酶、果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶和 SB 酶组成的 C5 复合酶处理豆粕,各组与对照组相比均呈现出显著的差异( $P < 0.05$ )。C5 优于 C3,C3 又优于单一酶。说明多酶复合的使用有助于去除豆粕中的相关抗营养因子。

3 讨论

3.1 植酸酶的用量与植酸的降解率

近年来用植酸酶进行酶解大豆及其加工产品中的植酸的研究较多。吴金鸿<sup>[13]</sup>等研究得出植酸酶的添加量为  $3.75\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  大豆粉时植酸的降解率达到 56.6%。陈乃松<sup>[14]</sup>报导在每克大豆分离蛋白中添加 1.5 U 的植酸酶时对植酸的降解率可达 80.84%。曹玲等<sup>[15]</sup>研究得出植酸酶的添加量  $1000 \sim 1100\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  豆粕时植酸的降率达 84%。张梅申等<sup>[16]</sup>在每克脱脂豆粉中加 5 mL 酶液( $870\text{ pu} \cdot \text{mL}^{-1}$ )进行处理,植酸的降解率达到 75%。研究得出,单一植酸酶的用量为  $10.5\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  豆粕时植酸的最大降解率达到 71.11%。产生上述差异的原因可能是植酸酶的来源、底物的性质、酶解条件以及检测方法等的不同。

3.2  $\text{Ca}^{2+}$  浓度与酶活力

研究发现在豆粕中加入适当浓度的  $\text{CaCl}_2$  对果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶和植酸酶的活性存在不同程度的正面影响,但过高的浓度会产生负面的影响。在豆粕中加入 0.2%  $\text{CaCl}_2$ ,在含水量 50% 的反应体系中能使果胶的降解率由 45.93% 大幅提高至 90.01%。林建城等<sup>[17]</sup>报导, $0.1\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{Ca}^{2+}$  可使果胶酶的活力提高 22.8%。王翔等<sup>[18]</sup>报导,当钙磷比值达到 1:1 ~ 1.4:1 时,植酸酶的活力最高。赵玉蓉等<sup>[19]</sup>研究发现,将  $\text{CaCl}_2$  与酶样以 1:10 添加以后,纤维素酶活力没有什么变化,木聚糖酶活力提高了 4.04%;但当以 1:2 添加时,纤维素酶活力提高了 6.9%,木聚糖酶活力提高了 7.62%。这说明  $\text{Ca}^{2+}$  对有关酶的活性和底物的降解存在着不同程度的影响。

3.3 纤维素酶的用量与降解效果

何中山<sup>[20]</sup>以还原性糖的释放量评价纤维素酶降解豆粕中纤维素的效果,得出纤维素酶的添加量为  $80\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  豆粕时有较好的效果,高于本研究得出的  $40\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$  豆粕的添加量。这可能与其对纤维素酶活力单位的定义与本研究对纤维素酶活力单位的定义不同有关。因此,使用酶制剂降解抗营养因子时,往往因评价指标、酶活定义和反应体系等参数的不同可能有不同的结果。

3.4 单一酶制剂与复合酶制剂的使用效果

碳水化合物占豆粕干物质的 40%,但这些碳水化合物大多不能被单胃动物利用,同时还呈现出不同程度的抗营养作用。构成豆粕细胞壁的成分中,90% 左右是非淀粉性多糖(纤维素、半纤维素和果

胶类)<sup>[4]</sup>。这些物质通过复杂的连接方式紧密结合在一起,仅通过单一的酶制剂难以充分破坏细胞壁的结构。因此,多种酶制剂的协同作用能起到更好的效果。研究得出:用植酸酶、果胶酶和纤维素酶组成的复合酶制剂 C3 和用植酸酶、果胶酶、纤维素酶、木聚糖酶和  $\alpha$ -半乳糖苷酶组成的复合酶制剂 C5 处理豆粕后,目标物质的降解率和还原性糖的释放率与单一酶制剂处理相比有显著性的提高。Saleh 等<sup>[21]</sup>同样发现使用果胶酶、木聚糖酶、纤维素酶等多酶复合比单一酶能显著地提高干物质和粗蛋白的体外消化率。多种酶复合物对于相关抗营养因子的降解效果比单一酶的降解效果好,这对于使用酶制剂解决豆粕中的抗营养因子问题有一定的指导意义。

## 参考文献

- [1] Francis G, Makkar H P S, Becker K B. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish[J]. *Aquaculture*, 2001, 199: 197-227.
- [2] 明根, 朝格图, 汪徽. 非淀粉多糖及其对家禽的抗营养作用[J]. *动物营养学报*, 1996, 8(2): 1-13. (Choet M, Wang J. Antinutritive role of non-starch polysaccharides in poultry diets[J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 1996, 8(2): 1-13.)
- [3] 吴莉芳, 秦贵信, 朱丹, 等. 大豆中主要抗营养因子对鱼类的影响[J]. *大豆科学*, 2006, 25(4): 450-452. (Wu L F, Qin G X, Zhu D, et al. Effects of main antinutritional factors in soybean on fish[J]. *Soybean Science*, 2006, 25(4): 450-452.)
- [4] Karr-Lilienthal L K, Kadzere C T, Grieshop C M, et al. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates related to nonruminants: A review[J]. *Livestock Production Science*, 2005, 97: 1-12.
- [5] 周红蕾, 李春玲, 王贵平, 等. 大豆中抗营养因子及其去除方法概述[J]. *饲料工业*, 2006, 27(3): 23-26. (Zhou H L, Li C L, Wang G P, et al. Brief introduction of soybean antinutritional factors and the way of getting rid of it[J]. *Feed Industry*, 2006, 27(3): 23-26.)
- [6] 熊智辉, 过玉英, 陈丽玲, 等. 微生物发酵处理对豆粕抗营养因子的影响[J]. *大豆科学*, 2007, 26(3): 396-399. (Xion Z H, Guo Y Y, Chen L L, et al. The influence of the microorganism fermentation processing to soybean meal anti-nutrition factors[J]. *Soybean Science*, 2007, 26(3): 396-399.)
- [7] Hong K J, Lee C H, Kim S W. *Aspergillus oryzae* GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2004, 7: 430-435.
- [8] Ghazi S, Rooke J A, Galbraith H, et al. The potential for the improvement of the nutritive value of soya-bean meal by different proteases in broiler chicks and broiler cockerels[J]. *British Poultry Science*, 2002, 43: 70-77.
- [9] Souza A L P, Lindemann M D, Cromwell G L. Supplementation of dietary enzymes has varying effects on apparent protein and amino acid digestibility in reproducing sows[J]. *Livestock Science*, 2007, 109: 122-124.
- [10] 朱燕, 夏玉宇. 饲料品质检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 38-39. (Zhu Y, Xia Y Y. *Feed quality testing*[M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House, 2003: 38-39.)
- [11] 傅启高, 李慧全. 三氯化铁比色法测定植酸含量的研究[J]. *营养学报*, 1997, 19(2): 216-220. (Fu Q G, Li H Q. Study on ferric chloride colorimetric method for phytate determination[J]. *Acta Nutriment Sinica*, 1997, 19(2): 216-220.)
- [12] 齐香君, 苟金霞, 韩戎珺, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原性糖的研究[J]. *纤维素科学与技术*, 2004, 12(3): 17-19. (Qi X J, Gou J X, Han W Q, et al. Determination of reducing sugar with 3,5-Dinitrosalicylic Acid Colorimetry[J]. *Journal of Cellulose Science and Technology*, 2004, 12(3): 17-19.)
- [13] 吴金鸿, 陈娟, 林向阳, 等. 酶法水解大豆中植酸的研究[J]. *中国食品学报*, 2004, 4(4): 43-46. (Wu J H, Chen J, Lin X Y, et al. A study on phatase enzymolysis of acid in soybean[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2004, 4(4): 43-46.)
- [14] 陈乃松. 植酸酶对大豆分离蛋白中植酸的酶解研究[J]. *饲料工业*, 1999, 20(11): 41-43. (Chen N S. A study on the phytase hydrolyzing phytate of soybean isolated protein[J]. *Feed Industry*, 1999, 20(11): 41-43.)
- [15] 曹玲, 王卫民, 杨承泰, 等. 植酸酶 3 种植物性原料中植酸磷含量的影响[J]. *淡水渔业*, 2007, 37(4): 52-56. (Cao L, Wang W M, Yang C T, et al. Effects of microbial phytase on phytate P contents in three plant ingredients[J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, 37(4): 52-56.)
- [16] 张梅申, 沈爱光, 熊晓辉, 等. 植酸酶对大豆中植酸降解作用的研究[J]. *大豆科学*, 1999, 16(3): 269-272. (Zhang M S, Shen A G, Xiong X H, et al. A study on phatase enzymolysis of phytic acid in soybean[J]. *Soybean Science*, 1999, 16(3): 269-272.)
- [17] 林建城, 杨文杰, 朱丽华, 等. 商品果胶酶(*Aspergillus niger*)的催化动力学研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2006, 41(4): 81-85. (Lin J C, Yang W J, Zhu L H, et al. Study on catalytic kinetics of commercial pectinase from *Aspergillus niger*[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2006, 41(4): 81-85.)
- [18] 王翔, 陈代文. 植酸酶的研究与应用[J]. *饲料工业*, 2006, 27(14): 20-23. (Wang X, Chen D W. Research and application of phytase[J]. *Feed Industry*, 2006, 27(14): 20-23.)
- [19] 赵玉蓉, 金宏, 陈清华, 等. 金属离子对纤维素酶及木聚糖酶活性影响的研究[J]. *饲料博览*, 2005, 1: 1-3. (Zhao Y R, Jin H, Chen Q H, et al. Effects of metal ions on cellulase and xylanase activity[J]. *Feed Review*, 2005, 1: 1-3.)
- [20] 何中山. 豆粕酶解参数及酶解豆粕对猪的饲用效果研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2004: 14-15. (He Z S. Study on the optimal parameters of NSP enzymes and proteinase to hydrolyze SBM and the feeding value of the hydrolyzed SBM on piglets[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2004: 14-15.)
- [21] Saleh F, Ohtsuka A, Tanaka T, et al. Effect of microbial origin on in vitro digestibilities dry matter and crude protein in soybean meal[J]. *Animal Science Journal*, 2003, 74: 23-29.